

(11)Publication number : **11-311591**

(43)Date of publication of application : 09.11.1999

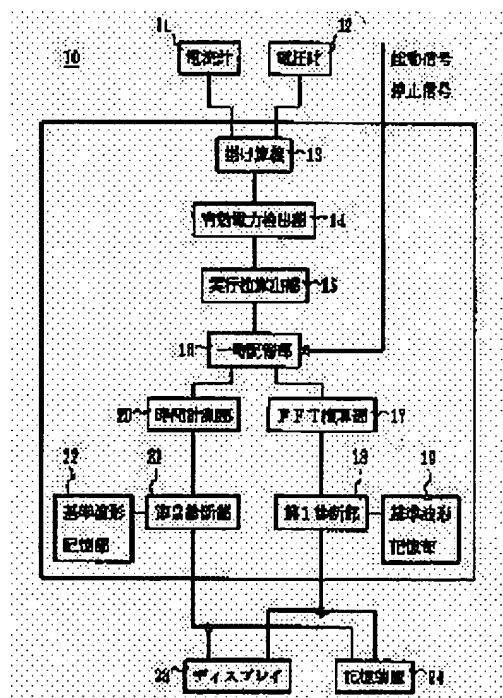
GO1M 19/00  
GO5B 23/02  
GO5B 23/02  
H02K 11/00

(71)Applicant : **NISSAN MOTOR CO LTD**

(72)Inventor : SUGIMOTO TOSHIRO  
TAKEUCHI SETSU  
OKADA YASUHIRO

(57)Abstract:

**SOLUTION:** A diagnostic apparatus 10 for a machine using a motor as a driving source comprises an ammeter 11 for measuring a consumed power of the motor, a voltmeter 12, a multiplying machine 13, an actual power detection part 14, an execution value calculation part 15, a temporary memory part 16 for storing the consumed power measured from an activation command to a stop of the motor, an FFT operation part 17 for processing the stored consumed power in a fast Fourier transform, and a first diagnostic part 18 for comparing a frequency distribution waveform obtained by the fast Fourier transform and a reference frequency distribution waveform and detecting the presence/absence of failures in the machine.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-311591

(43) 公開日 平成11年(1999)11月9日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	F I	
G 0 1 M 19/00		G 0 1 M 19/00	A
G 0 5 B 23/02		G 0 5 B 23/02	V
	3 0 2		3 0 2 Y
H 0 2 K 11/00		H 0 2 K 11/00	A
			J
審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)			

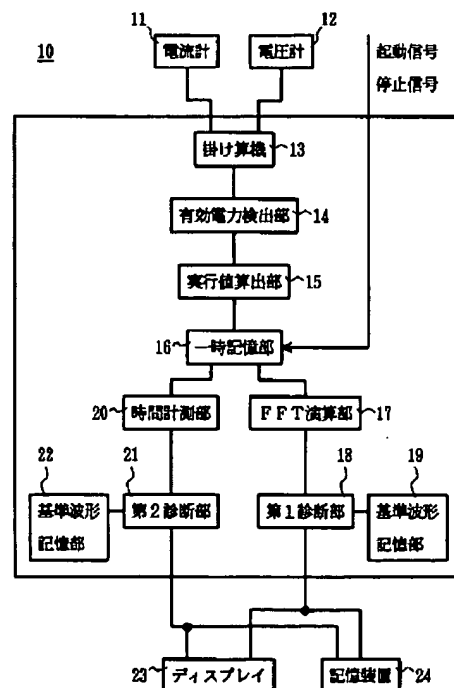
(21) 出願番号	特願平10-119403	(71) 出願人	000003997 日産自動車株式会社 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(22) 出願日	平成10年(1998)4月28日	(72) 発明者	杉元 敏郎 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
		(72) 発明者	竹内 節 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
		(72) 発明者	岡田 安弘 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 八田 幹雄 (外3名)

(54) 【発明の名称】 モータを駆動源とした機械の診断装置

(57) 【要約】

【課題】 モータの消費電力の測定のみによって、モータを駆動源とする機械の診断を行う診断装置において、温度やオイル粘度、正常な負荷などといった外乱要因によって生じる誤診断を防止した診断装置を提供する。

【解決手段】 モータの消費電力を測定するための電流計11、電圧計12、掛け算機13、有効電力検出部14、および実行値算出部15と、モータの起動指示から停止までの間測定された消費電力を記憶する一時記憶部16と、記憶された消費電力を高速フーリエ変換するFFT演算部17と、高速フーリエ変換により得られた周波数分布波形と、基準となる周波数分布波形とを比較して、機械の不具合の有無を検出する第1診断部18と、を有することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置10。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 モータを駆動源とした機械に生じた不具合を検出するための診断装置であって、前記モータの消費電力を測定する電力測定手段と、前記電力測定手段によって測定された電力を一定時間間隔で、高速フーリエ変換する演算手段と、前記演算手段によって高速フーリエ変換することにより得られた周波数分布波形と、基準となる周波数分布波形とを比較して、前記機械の不具合の有無を検出する周波数基準診断手段と、を有することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置。

【請求項2】 前記診断手段は、予め求められている機械各部の動作に対応した周波数に基づき、前記不具合の発生を検出した周波数から不具合の発生箇所を推定することを特徴とする請求項2記載のモータを駆動源とした機械の診断装置。

【請求項3】 モータを駆動源とした機械に生じた不具合を検出するための診断装置であって、前記モータの消費電力を測定する電力測定手段と、前記電力測定手段によって測定したモータの消費電力が、機械の動作開始指示からピーク電力となるまでの時間を計測するピーク電力時間測定手段と、前記ピーク電力時間計測手段により測定された時間と、予め決められた時間とを比較して前記機械の不具合の有無を検出するピーク電力時間基準診断手段と、を有することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置。

【請求項4】 モータを駆動源とした機械に生じた不具合を検出するための診断装置であって、前記モータの消費電力を測定する電力測定手段と、前記電力測定手段によって測定したモータの消費電力が、無電力となったことを検出した時点から機械の動作完了となるまでの時間を計測する無電力時間測定手段と、前記無電力時間計測手段により測定された時間と、予め決められた時間とを比較して前記機械の不具合の有無を検出する無電力時間基準診断手段と、を有することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、モータを駆動源とした機械に生じた不具合を検出するための診断装置に関し、特に、モータの消費電力を測定することにより不具合を検出する診断装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】モータを駆動源とした機械の状態を診断する手法の一つとして、モータにより駆動される機械各部の劣化がモータの回し難さとなり、これをモータの消費電力として測定して機械の状態を診断する手法がある。このような手法を採用した診断方法として、例えば

特開平9-198123号公報には、モータの消費電力を測定して、測定した電力が予め決められた電力以上または以下となっている場合に何等かの不具合が発生していることを検出する方法が開示されている。

【0003】この方法は、図9に示すように、駆動源であるモータ51の駆動力を減速機52を介して回転軸53に伝達し、この回転軸53の回転運動をクランク・カム機構60により往復運動に変換し、動作部位55を往復運動させる機械構成において、モータ51の消費電力を電力測定器71により測定し、回転軸53の回転角度を回転角測定器72により測定して、モニタ装置本体74が、測定結果を、図10に示すように、モータ51の消費電力の変化を回転軸53の回転角度に応じてプロットして、測定した消費電力と予め決められた基準となる判定レベルとを比較することにより、回転角度に応じて判定レベルを越えたか否かにより不具合の発生を検出している。また、この方法では、回転角に応じた消費電力の変化を比較することで、どの部位に不具合が生じたかを推定することができるようになっている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、このような従来の方法にあつては、測定した消費電力の絶対量を基準値と比較しているため、例えば温度変化によって機械内部のオイル粘度に変化がある場合、機械自体には何等不具合がなくても、オイル粘度が高くなったようなときには、測定されるモータの消費電力の絶対値が増加して、基準値を越えてしまうような場合がある。このような場合、従来の方法では、不具合と判断してしまい、誤った診断結果を出してしまうという問題がある。

【0005】このような温度やオイル粘度、また、正常な状態での負荷の増大や減少などといった外乱要因による誤診断を防止するためには、モータの消費電力の測定に合わせて、機械や周囲の温度、機械内部のオイル粘度などを測定し、これらの測定結果を用いて測定したモータの消費電力、または基準値を補正しなければならず、このような装置構成は非常に複雑、かつ、高価なシステムとなることが避けられない。

【0006】そこで、本発明は、モータの消費電力の測定のみによっても、外乱要因によって生じる誤診断を防止することができる診断装置を提供することである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の目的は、下記する手段により達成される。

【0008】(1)モータを駆動源とした機械に生じた不具合を検出するための診断装置であって、前記モータの消費電力を測定する電力測定手段と、前記電力測定手段によって測定された電力を一定時間間隔で、高速フーリエ変換する演算手段と、前記演算手段によって高速フーリエ変換することにより得られた周波数分布波形と、基準となる周波数分布波形とを比較して、前記機械の不

具合の有無を検出する周波数基準診断手段と、を有することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置。

【0009】(2)前記診断手段は、予め求められている機械各部の動作に対応した周波数に基づき、前記不具合の発生を検出した周波数から不具合の発生箇所を推定することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置。

【0010】(3)モータを駆動源とした機械に生じた不具合を検出するための診断装置であって、前記モータの消費電力を測定する電力測定手段と、前記電力測定手段によって測定したモータの消費電力が、機械の動作開始指示からピーク電力となるまでの時間を計測するピーク電力時間測定手段と、前記ピーク電力時間計測手段により測定された時間と、予め決められた時間とを比較して前記機械の不具合の有無を検出するピーク電力時間基準診断手段と、を有することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置。

【0011】(4)モータを駆動源とした機械に生じた不具合を検出するための診断装置であって、前記モータの消費電力を測定する電力測定手段と、前記電力測定手段によって測定したモータの消費電力が、無電力となったことを検出した時点から機械の動作完了となるまでの時間を計測する無電力時間測定手段と、前記無電力時間計測手段により測定された時間と、予め決められた時間とを比較して前記機械の不具合の有無を検出する無電力時間基準診断手段と、を有することを特徴とするモータを駆動源とした機械の診断装置。

【0012】

【発明の効果】以上説明した本発明によれば、請求項ごとに以下のような効果を奏する。

【0013】請求項1記載の本発明によれば、電力測定手段によって測定したモータ消費電力を一定時間間隔で高速フーリエ変換することにより、特定の周波数ごとにおける変化の度合いとしてモータの消費電力の変化を見ることができ、これを予め求めておいた基準となる周波数分布波形と比較することで、外乱要因によって変化する消費電力の絶対値の影響を受けることなく、正確に、機械各部の不具合を検出することができる。

【0014】請求項2記載の本発明によれば、高速フーリエ変換によって得られた周波数分布波形の特定の周波数と、機械の動作部位とが対応関係のあることを利用し、予め求められている機械各部の動作に対応した周波数に基づき、前記不具合の発生を検出した周波数から不具合の発生箇所を推定することとしたので、どの部分で不具合が発生しているかを機械の分解を行う前に予測することができるようになり、機械の保全計画を精度よく立てることができるようになる。

【0015】請求項3記載の本発明は、モータの起動開始指令から消費電力がピークに達するまでの時間を基準

時間と比較することで不具合の有無を検出すること、すなわち、時間を基準として機械に生じた不具合の有無を検出することとしたので、機械の動作中における消費電力の絶対値の変化に影響されことなく、簡易に機械の不具合を検出することができる。

【0016】請求項4記載の本発明は、モータの消費電力がなくなった時点から機械の動作が完了するまでの無電力時間を基準時間と比較することで不具合の有無を検出すること、すなわち、時間を基準として機械に生じた不具合の有無を検出することとしたので、機械の動作中における消費電力の絶対値の変化に影響されことなく、簡易に機械の不具合を検出することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、添付した図面を参照して、本発明の一実施の形態を説明する。

【0018】図1は、本発明を適用した診断装置10により診断を行うモータを駆動源とする機械の構成を示す概略図であり、図2は、診断装置の内部構成をその動作に基づき説明するための機能ブロック図である。

【0019】まず、診断を行う機械構成について、図1を参照して説明する。

【0020】この機械は、モータを駆動源として動作するロボットアームであり、その構成は、駆動源となるサーボモータ1（以下、単にモータを称する）と、このモータ1の回転軸に接続された減速機2と、減速機2の出力軸に接続されたロボットアーム3よりなる。なお、ロボットアームの先端には、図示する場合にはエンドエフェクタとして溶接機が接続されている。

【0021】モータ1はモータ1の制御回路4から適宜ロボットアーム3を動作させるために必要な電力の供給を配線5を介して受けることにより回転する。ここで、モータ1に供給される電力は交流である。

【0022】また、モータ1には、回転数や回転速度のサーボのために必要なモータの回転数を検出するためのパルスエンコーダ（不図示）が設けられており、その信号は、制御回路4に出力されている。減速機2は、歯車やベアリングなどによって構成された通常のもので、その内部には、歯車やベアリングなどの潤滑および劣化防止のためにオイルが充填されている。

【0023】制御回路4では、適宜ロボットアーム3を動作させるために必要なモータの起動、停止の指示、およびモータ1の回転速度を制御（サーボ）しており、ロボットアーム3の動作に必要な回転速度となるように、モータ1に設けられているパルスエンコーダからのパルス信号により、その回転速度となるような電力がモータ1に対して供給される。また、パルスエンコーダのパルス信号によって、モータ1が実際に停止したか否かを検出して、モータ1が実際に停止したことを示す停止信号が出力されている。さらにこのパルスエンコーダからのパルス数をカウントすることと、ロボットアームの位

置決めが行われている（ロボットの位置決めにはモータの動作の他、位置決め専用のセンサなどが設けられている場合もある）。なお、このようなモータの制御および機械の動作は通常のロボットにおける制御や動作である。

【0024】このような機械の診断を行うための診断装置10は、モータの制御回路4内部の、実際にモータ1へ電力を供給している配線上の電流値および電圧値を検出して、モータの消費電力を測定し、また、制御回路4が行うモータの起動指示、およびロボットアーム3が所定の動作を完了して、モータ1が実際に停止したことを示す停止信号を検出するようになっている。

【0025】診断装置10の構成は、図2に示すように、制御回路4から電力を測定するために設けられている電流計11および電圧計12、これら電流計11および電圧計12からの信号値を掛け算して電力を求める掛け算機13、掛け算機13によって得られた電力値から有効電力を検出する有効電力検出部14、有効電力検出部14によって求められた有効電力からさらにその実行値を算出する実行値算出部15、モータの制御回路4から起動指示信号および停止信号を受けて、この起動から停止までの間に測定された電力（実行値算出部から出力された実行値）を記憶する一時記憶部16、この一時記憶部16に記憶されたモータの起動指示から停止信号があるまでの間の電力値を高速フーリエ変換（FFT）するFFT演算部17、基準となる周波数分布波形を記憶した基準波形記憶部19、基準波形記憶部19に記憶されている基準となる周波数分布波形とFFT演算部17から得られた周波数分布波形とを比較して不具合の有無を検出す第1診断部18、一時記憶部16に記憶された電力値からモータの起動指示信号からピーク電力に達するまでの時間と無電力となったときから停止信号を検出したとき（実際にモータが停止したとき）までの時間を検出する時間計測部20、ピーク電力となるまでの基準時間と無電力となったときからモータが停止するまでの基準時間を記憶した基準時間記憶部22、時間計測部20が計測したピーク電力までの時間、および無電力となったときから停止信号を検出したときまでの時間と基準時間記憶部21が記憶しているそれぞれの基準時間とを比較して機械の不具合の有無を検出する第2診断部21、および第1診断部18、第2診断部21による診断結果を表示するディスプレイ23と診断結果を記憶する記憶装置24よりなる。

【0026】ここで、上記各部のうち、電流計11、電圧計12、掛け算機13、有効電力検出部14、および実行値算出部15が本発明に係る電力測定手段として機能し、一時記憶部16、およびFFT演算部16が同じく演算手段として機能し、また、基準波形分布記憶部18および第1診断部19が周波数基準診断手段として機能し、時間計測部20、基準時間記憶部22、および第

2診断部21がピーク電力時間診断手段または無電力時間基準診断手段として機能する。

【0027】なお、上記した診断装置10内の各部は、この診断装置10の動作および機能を説明するためのものであり、実際の装置としては、電流計11および電圧計12を除き、その他の各部はいわゆるパソコンやワークステーションなどと称されているコンピュータが、上記各部の機能を実施するためのプログラムを実行することにより機能するものである。なお、もちろん全ての構成をコンピュータによらず構成してもよいことは言うまでもない。

【0028】以下、上記した診断装置10の各部の機能にしたがって、診断装置10の動作を説明する。

【0029】図3は、実際に測定されたモータの消費電力を示す図面で、上記一時記憶部16に記憶された起動指示からロボットが所定の動作を完了するまでの間の消費電力（実行値）の変化を表す電力波形を示す。ここで、データ1とデータ2は、ロボットアーム3に同じ動作をさせたときのものであるが、データ1は暫くロボットが停止した状態（すなわち、ロボット各部が冷えている状態）から起動させた直後のものであり、一方、データ2は連続的に動作させた後のものである。なお、ここでロボットの所定の動作とは、ロボットアーム3が予め教示された動作を行い位置決め点まで移動する動作である。

【0030】図示するように、データ1とデータ2とでは、同じ動作であっても、消費電力の絶対値が異なることが分かる。この違いは、データ1では、ロボットが冷えた状態で稼働しているため、データ2のときと比較して、機械内部のオイル粘度が高く、その分モータ1にかかる負荷が大きいため、同じ動作であっても、データ2のときより消費電力の絶対値が高くなっているものである。なお、このような負荷の違いは正常な負荷範囲での違いである。

【0031】このような違いは、オイル粘度の差に限らず、温度そのものによる影響や正常な状態での負荷の変化（例えばロボットの場合には、エンドエフェクタの交換などによるロボットアーム先端の重量の変化や、ロボットハンドを取り付けているときには把持するワーク重量の違いなど）によっても発生する。

【0032】この図3においては、丸で囲んだ不具合発生部位に、実際には機械に不具合が発生しているために消費電力の微小な振動に変化が現れているのであるが（図中の拡大図参照）、このような消費電力の絶対値を記録しただけでは判断することができない。

【0033】図4は、一時記憶部16に記憶された図3に示したような電力波形をFFT演算部17により高速フーリエ変換して得られた周波数分布波形を示す図面である。

【0034】このように高速フーリエ変換することによ

って、時間経過による消費電力の変化を周波数分布として表すことができ、周波数ごとのレベルが機械の状態によって生じる消費電力の微小な振動の振幅を示すことになる。そして、この機械の状態によって生じる消費電力の微小な振動は、消費電力の絶対値が変化しても、変化することがないため、もし、不具合の発生している部分があれば、周波数分布における不具合が発生した部分で、そのレベルに正常時と比較して差が生じる。なお、図4において、丸で囲んだ不具合レベルおよび正常レベルの図は、それぞれの部分における高速フーリエ変換する前の消費電力の絶対値を拡大したものである。

【0035】そこで、第1診断部18では、基準波形記憶部19に予め記憶してある基準となる周波数分布波形と、測定された消費電力を高速フーリエ変換した波形とを比較して、周波数ごとにレベル差のある部分で不具合が生じているものと判断する。

【0036】図示する場合には、(f)で示した周波数部分でそのレベルが、正常値と比較して高くなっており、この部分で不具合が発生していることが分かる。

【0037】なお、基準となる周波数分布波形は、予め正常であることが確認されているロボットを動作させることにより得られた周波数分布波形を基準波形記憶部18に記憶し、診断の際の基準としたものである。

【0038】また、この周波数分布は、機械の各動作部位の動作と相関関係がある。これは、モータの回転により各部を動作させる機械の場合、モータや回転軸、また減速機内の歯車などといった回転体に固有の周波数に対応するものである(機械自体に固有の振動周波数ではない)。そして、このような回転体に固有の周波数は、回転体の基本回転周波数の整数倍の周波数として、電力測定から得られた周波数分布に現れる。したがって、この回転体の基本回転周波数およびその整数倍の周波数が分かれば、電力測定によって得られた周波数分布の中の周波数が、どの動作部位に対応しているかを知ることができる。

【0039】このような回転体に固有の周波数は、計算によって求めることができる。例えばモータの回転軸、または、モータに減速機などを介さずに直接接続された回転軸の場合、モータの回転数からその固有周波数を求めることができる。基本回転周波数 $f_0$ は、 $f_0(\text{Hz}) = N/60$ (ここで $N$ はモータの回転数(rpm)である)で求められる。そして、その整数倍の周波数は、 $f_1 = 2 \times f_0$ 、 $f_2 = 3 \times f_0$ 、…などとなる。

【0040】具体的には、仮にモータの回転数を1200rpmとすると、その固有周波数は、

$$f_0 = 1200/60 = 20(\text{Hz})、$$

$$f_1 = 2 \times 20 = 40(\text{Hz})、$$

$$f_2 = 3 \times 20 = 60(\text{Hz})、…$$

などとなる。

【0041】また、減速機の固有周波数は、減速機内の

歯車の回転による歯車の歯の接触により基本回転周波数が決定される。したがって、その基本回転周波数 $f_{z0}$ は、 $f_{z0} = (N/60) \times Z$ (ここで $N$ は歯車の回転数(rpm)、 $Z$ は歯車の歯数である)により求めることができる。

【0042】具体的には、仮に、2つの歯車の組み合わせにより、減速比10の減速機を構成した場合、この減速機の入力側歯車(IN)(モータに接続されている方)の歯数を10、出力側歯車(OUT)(ロボットアームなどの動作のための軸に接続される方)の歯数を100とすると、この減速機の固有周波数は、モータの回転数を前記同様1200(rpm)とすると、下記のように求めることができる。

【0043】まず、入力側歯車(IN)では、モータの回転により入力側歯車が1200(rpm)で回転するため、その固有周波数は、

$$f_{z0}[\text{IN}] = (1200/60) \times 10 = 200(\text{Hz})、$$

$$f_{z1}[\text{IN}] = 2 \times 200 = 400(\text{Hz})、$$

$$f_{z2}[\text{IN}] = 3 \times 200 = 600(\text{Hz})、…$$

となる。

【0044】一方、出力側歯車(OUT)では、出力側歯車が120(rpm)で回転するため、その固有周波数は、

$$f_{z0}[\text{OUT}] = (120/60) \times 100 = 200(\text{Hz})、$$

$$f_{z1}[\text{OUT}] = 2 \times 200 = 400(\text{Hz})、$$

$$f_{z2}[\text{OUT}] = 3 \times 200 = 600(\text{Hz})、…$$

となる。

【0045】ここでは、各歯車による固有周波数は、入力側、出力側ともに同じであるため、減速機としての固有周波数は、200(Hz)、400(Hz)、600(Hz)、…となる。なお、入力側と出力側で各歯車による固有周波数が異なる場合でも同様に求められるが、その場合には、減速機全体としての固有周波数ではなく、個々の歯車ごとの固有周波数が分かる。

【0046】このようにして算出された回転体の固有周波数は、その固有周波数を発する回転体による動作部位との対応関係と共に、基準波形を記憶させている基準波形記憶部19内に記憶しておき、第1診断部18において、記憶した機械の固有周波数と、不具合の検出された周波数を対比することで不具合の発生箇所を推定する。

【0047】さらに、不具合が検出されたときには不具合のある周波数のレベル(正常値との差の量)によって、その不具合の程度をも推定することもできる。これは、回転体の磨耗やきずなどによって振動が生じた場合、その振動の程度が周波数の振幅となって現れ、この振幅が、振動を生じる原因となる磨耗やきずなどの程度と比例しているためである。

【0048】具体的には、例えば、モータの軸や回転軸

などの回転体、およびその軸受部などの磨耗や、これらの部分の剥離（フレーキング）、あるいは、減速機内の歯車の磨耗により、回転体や歯車を回転したときにたわみが生じて、このたわみが回転体の回転に際して抵抗となり、この抵抗が磨耗量や剥離量に比例するため、回転に必要なトルクがこれらの磨耗量や剥離量に比例して変化し、これが電力量に影響して、周波数成分の振幅となって現れる。したがって、この不具合がある周波数での振幅の度合い（図4において示した劣化程度）から回転体の剥離量や磨耗量を推定することができるのである。

【0049】次に本実施形態では、上述した高速フーリエ変換を用いた診断の他に、さらに診断精度を向上させるために、第2診断部21により時間を基準にした2つの診断を行っている。

【0050】その第1は、起動指示があつてから消費電力がピークに達するまでの時間（図3においてT1で示した区間）を元に診断するもので、第2診断部21が、一時記憶部16に記憶された消費電力の実行値から、起動指示の信号を受けてからピーク電力となった時点までの時間を計測し、この計測した時間と、予め基準時間記憶部22に記憶されている起動からピーク電力となるまでの基準時間とを比較し、この時間の差によって不具合の有無を検出する。

【0051】図5は、このピーク電力となるまでの時間から診断する方法の具体例を示す図面である。

【0052】この図において、起動指示からピーク電力に達するまでの時間T(a)が正常な状態での時間であり、これに対し、T(b)およびT(c)が不具合のあるときの時間である。図から分かるように、不具合があるときには、起動指示からピーク電力に達するまでの時間が正常な状態より遅れることが分かる。

【0053】このように不具合のある場合に、この不具合をピーク電力に到達する時間の遅れとして検出できるのは、モータの消費電力として有効電力を測定しているからである。

【0054】この診断の原理について説明する。例えば、減速機内のベアリングが破損し、回転時の抵抗となっているときなどには、このベアリングの破損によって、モータにかかる負荷が大きくなる。モータの等価回路を図6に示す。この図において、抵抗Rがモータにかかる負荷であり（図中Lはモータの電気系統（特にモータ内のコイル）のインダクタンスである）、この負荷が増大すると、供給電力の電圧が一定のとき、負荷増大分を補うためにモータへ流れる電流が増加する。なお、図6において、Vはモータに供給する電力の電圧、VRは負荷抵抗による電圧降下、VLモータに実際にかかる電圧である。

【0055】このようなモータの動作概念は、図7に示すようにベクトル空間図として表される。なお、図中、 $i_a$  は電機子電流、 $i_{aT}$  はトルク電流、 $i_{aM}$  は磁化電

流、 $\phi$  は発生磁束、 $\phi_d$  は回転子磁束成分、 $\phi_q$  は回転子磁束成分である。

【0056】ここでモータの電機子電流  $i_a$  は、トルク電流  $i_{aT}$  と磁化電流  $i_{aM}$  のベクトル和  $i_a = i_{aT} + i_{aM}$  となる。そして、負荷の増大によって必要となるモータ出力が、モータ性能のトルク値を超過すると電機子電流  $i_a$  が増加しても、トルク電流  $i_{aT}$  は限界値にて飽和し、磁化電流  $i_{aM}$  のみが増加することになる。このため、力率が悪化することになる。

【0057】そして、力率の悪化によって、無効電力が発生するため、有効電力のみ監視することで、図8に示すように、ピーク電力の到達が遅れて見えるようになる。本実施形態ではこの有効電力の監視によりピーク電力の遅れを検出しているものである。

【0058】これにより、高速フーリエ変換によっても捕らえることができないような不具合として、負荷の増大によりモータ性能としてのトルク値を越えるような負荷がかかり、機械の動作に遅れが生じるような不具合を検出できるようになる。これは、例えばロボットアームにおいては、アーム動作に遅れが出て、その動作の遅れが目でも分かる程大きければ、作業員によって発見されるのであるが（もちろんこのような場合も検出することができるが）、アーム動作の遅れが局部的であったり、ごく僅かであったりして、作業員の目では遅れを発見できないような場合であっても、このピーク電力の監視により、ごく僅かな動作遅れを生じるような不具合を検出することができる。

【0059】また、この不具合の検出は、機械自体の損傷などによる負荷の増大に限らず、正常ではない過大な負荷がかかった場合にも検出することができるので、このような過大な負荷により、機械、特にモータに過大な負荷がかかることによる機械的損傷に至るような不具合を検出して、これを防止することができる。

【0060】次に時間を基準にした診断の第2は、消費電力がなくなって（無電力）から機械の動作が完了するまでの時間（図3においてT2で示した区間）により診断するものである。

【0061】この時間を基準にした診断の第2方法は、前記第1のものとはほぼ同様であり、第2診断部21が、一時記憶部16に記憶された消費電力の実行値から、消費電力がなくなった時点から機械の動作が完了したことを示す停止信号を受けたときまでの時間を計測して、この計測した時間と、予め基準時間記憶部22に記憶されている無電力状態の基準時間と比較し、この時間の差によって、不具合の有無を検出する。

【0062】ここで、モータは、ロボットアームなどの位置決めの際に、動作を停止するための減速点からアームが実際に停止までの間、その消費電力が0となっている。このとき、無効電力を捉えたと、モータは完全に停止するまでの間、回転しており、この間、モータのサ

## 11

ーボンプでは、モータの回転によって生じる起電力を回生放電という形で放電している。なお、回生放電とは、モータが慣性により回されることにより、発電機の働きをし、放電することである。

【0063】そして、機械自体に何等かの不具合が生じて、これが機械内部の抵抗となり機械自体の動き難さとなる場合には、これがモータの回転抵抗となるので、モータを止める機械的なブレーキとして働き、正常時と比較してモータの回転が止まるのが早くなり、無効電力の発生期間が短くなる。

【0064】したがって、有効電力を検出しているときには、これが0となつてから実際にモータが停止するまでの時間、すなわち、図3におけるT2の時間が短くなるので、これを正常値と比較することで、モータに対してブレーキとして作用するような機械的な不具合がある場合に、これを検出することができる。

【0065】なお、以上のような時間を基準とした不具合の検出においては、起動指示からピーク電力に達するまでの正常な状態での基準時間、および動作を停止させる際の無電力状態の基準時間は、予め正常な状態において、これらがどの程度の時間であるか測定しておき、これを基準時間記憶部22に記憶するようにしてもよいし、また、ピーク電力となる時間は機械に最も負荷のかかる動作に対応し、一方、無電力状態の時間（動作停止のための無効電力の発生から実際にモータが停止するまで）についてもモータに電力を供給する必要がなくなったときから動作完了までの時間に対応するため、これらは機械（本実施形態ではロボットアーム）の動作と関連しているため、診断する機械の動作から求めて、各基準時間としてもよい。

【0066】以上のように本実施形態によれば、消費電力のみを測定することで、外乱要因による誤診断を防止して、消費電力の絶対値からは検出できないような不具合を高速フーリエ変換を行うことにより検出し、さらにこの高速フーリエ変換によっても検出が難しい、機械動作部位の動作遅れやモータに対して機械的なブレーキとして作用するような不具合をも、消費電力がピークに達するまでの時間や無電力状態の時間から検出することができる。

【0067】また、この診断装置では、診断に必要な信号がモータの消費電力と起動指示および動作完了の信号だけであるので、消費電力はモータへの電力供給回路中から容易に測定することができ、起動指示および動作完

## 12

了の信号は機械の制御を行っているプログラマブルコントローラなどの制御回路から容易に取得することができるので、例えば上述した診断装置を可搬式のパソコン、好ましくは小型のパソコンにより実施することで、複数の機械の診断をこのパソコンを持ち運んで診断することができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る実施形態の診断装置により診断を行う機械構成の概略である。

10 【図2】 上記診断装置の構成を説明するための機能ブロック図である。

【図3】 上記診断装置において測定されたモータの消費電力波形を示す図面である。

【図4】 上記診断装置において高速フーリエ変換されたモータ消費電力の周波数分布波形を示す図面である。

【図5】 上記診断装置においてモータの起動指示からピーク電力に達するまでのモータ消費電力を示す図面である。

【図6】 モータの等価回路図である。

20 【図7】 モータの動作概念を説明するためのベクトル空間図である。

【図8】 ピーク電力の遅れを説明するための有効電力と無効電力の関係を示す図面である。

【図9】 従来の診断装置による測定を説明するための機械の構成と従来の診断装置を示す図面である。

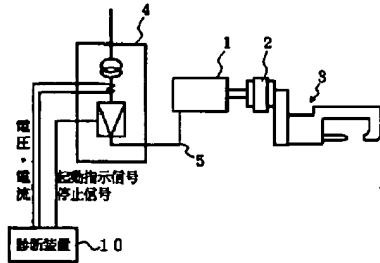
【図10】 従来の診断方法を説明するためのモータ消費電力を示す図面である。

【符号の説明】

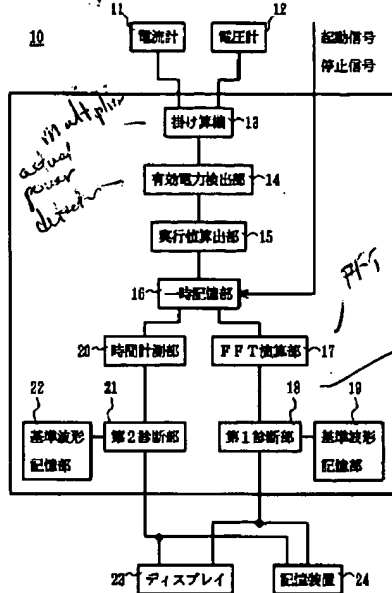
- 10…診断装置、
- 30 11…電流計、
- 12…電圧計、
- 13…掛け算機、
- 14…有効電力検出部、
- 15…RMS処理部、
- 16…一時記憶部、
- 17…FFT演算部、
- 18…第1診断部、
- 19…基準波形記憶部、
- 20…時間計測部、
- 40 21…第2診断部、
- 22…基準時間記憶部、
- 23…ディスプレイ、
- 24…記憶装置。



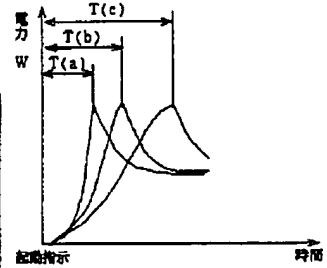
【図1】



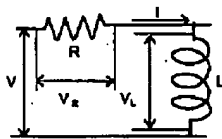
【図2】



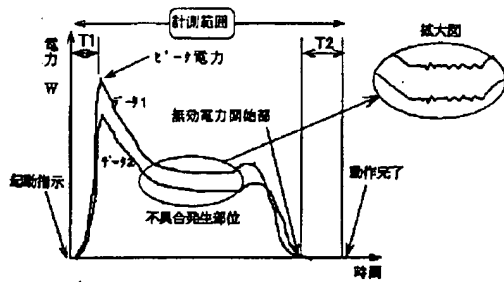
【図5】



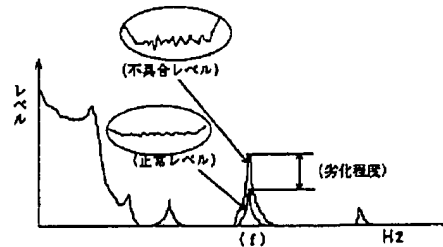
【図6】



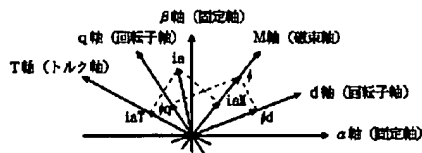
【図3】



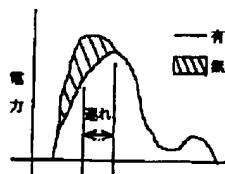
【図4】



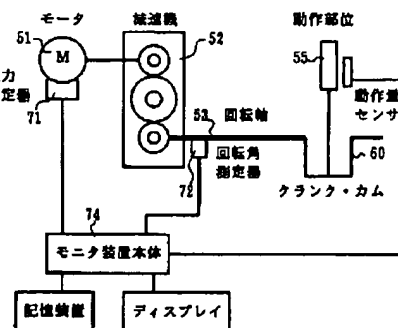
【図7】



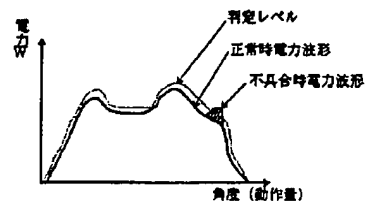
【図8】



【図9】



【図10】



## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the diagnostic equipment which detects fault by measuring the power consumption of a motor especially about the diagnostic equipment for detecting the fault which produced the motor to the machine made into the driving source.

[0002]

[Description of the Prior Art] As one of the technique which diagnoses the condition of the machine which made the motor the driving source, degradation of each part of a machine driven by the motor serves as the difficulty of turning of a motor, and there is the technique of measuring this as power consumption of a motor and diagnosing the condition of a machine. As the diagnostic approach which adopted such technique, the power consumption of a motor is measured, and when having become more than the power with which the measured power was decided beforehand, or the following, the method of detecting that a certain fault has occurred is indicated by JP,9-198123,A.

[0003] As this approach is shown in drawing 9, the driving force of the motor 51 which is a driving source is transmitted to a revolving shaft 53 through a reducer 52. In the machine configuration to which change rotation of this revolving shaft 53 into a reciprocating motion by the crank cam mechanism 60, and at least a right hand side makes 55 reciprocate As the power consumption of a motor 51 is measured with the power measuring instrument 71, and angle of rotation of a revolving shaft 53 is measured with the angle-of-rotation measuring instrument 72 and shown in drawing 10, the body 74 of a monitoring device a measurement result Change of the power consumption of a motor 51 was plotted according to angle of rotation of a revolving shaft 53, and whether judgment level was exceeded according to angle of rotation has detected generating of fault by comparing the judgment level used as the criteria beforehand decided to be the measured power consumption. Moreover, by this approach, it can presume now to which part fault arose by comparing change of the power consumption according to an angle of rotation.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, if it is in such a conventional approach, since the absolute magnitude of the measured power consumption is measured with the reference value, even if there is no fault in the machine itself in any way, when the oil viscosity inside a machine has change by the temperature change, and oil viscosity becomes high, the absolute value of the power consumption of the motor measured increases, and there is a case so that a reference value may be exceeded. In such a case, there is a problem of judging it as fault and taking out the mistaken diagnostic result with the conventional approach.

[0005] In order to prevent the incorrect diagnosis by the disturbance factor of increase, reduction, etc. of such temperature and oil viscosity, and the load in a normal condition To compensate for measurement of the power consumption of a motor, the temperature of a machine or a perimeter, the oil viscosity inside a machine, etc. are measured. The power consumption of the motor measured using these measurement results or a reference value must be amended, and it is not avoided that such an equipment

configuration serves as a very complexity and expensive system.

[0006] Then, this invention is offering the diagnostic equipment which can prevent the incorrect diagnosis produced according to a disturbance factor only by measurement of the power consumption of a motor.

[0007]

[Means for Solving the Problem] The purpose of this invention is attained by the means which carries out the following.

[0008] The power measured by power measurement means to be the diagnostic equipment for detecting the fault which produced the motor to the machine made into the driving source, and to measure the power consumption of said motor, and said power measurement means (1) With a fixed time interval The operation means which carries out a fast Fourier transform, and the frequency distribution wave acquired by carrying out a fast Fourier transform with said operation means, Diagnostic equipment of the machine which made the driving source the motor characterized by comparing the frequency distribution wave used as criteria, and having a frequency criteria diagnostic means to detect the existence of the fault of said machine. ...

[0009] (2) Said diagnostic means is the diagnostic equipment of the machine which made the driving source the motor characterized by presuming the generating part of fault from the frequency which detected generating of said fault based on the frequency corresponding to the actuation of each part of a machine currently called for beforehand.

[0010] (3) A power measurement means to be the diagnostic equipment for detecting the fault which produced the motor to the machine made into the driving source, and to measure the power consumption of said motor, A peak-power timing measurement means by which the power consumption of the motor measured with said power measurement means measures time amount until it becomes a peak power from initiation directions of a machine of operation, Diagnostic equipment of the machine which made the driving source the motor characterized by having a peak-power time base diagnostic means to compare the time amount on which it decided as the time amount measured by said peak-power time amount measurement means beforehand, and to detect the existence of the fault of said machine.

[0011] (4) A power measurement means to be the diagnostic equipment for detecting the fault which produced the motor to the machine made into the driving source, and to measure the power consumption of said motor, A non-power timing measurement means to measure time amount until the power consumption of the motor measured with said power measurement means serves as completion of a machine of operation from the time of detecting having become non-power, Diagnostic equipment of the machine which made the driving source the motor characterized by having a non-power time base diagnostic means to compare the time amount on which it decided as the time amount measured by said non-power time amount measurement means beforehand, and to detect the existence of the fault of said machine.

[0012]

[Effect of the Invention] According to this invention explained above, the following effectiveness is done so for every claim.

[0013] By carrying out the fast Fourier transform of the motor power consumption measured with the power measurement means with a fixed time interval according to this invention according to claim 1 By comparing with the frequency distribution wave used as the criteria which could see change of the power consumption of a motor as a degree of the change in every specific frequency, and asked for this beforehand The fault of each part of a machine can be detected correctly, without being influenced of the absolute value of the power consumption which changes with disturbance factors.

[0014] The specific frequency of a frequency distribution wave which was obtained by the fast Fourier transform according to this invention according to claim 2, Based on the frequency corresponding to the actuation of each part of a machine which uses that there is [ a right hand side of a machine ] correspondence-related, and is called for beforehand since [ frequency / which detected generating of said fault ] the generating part of fault is presumed Before disassembling a machine, it can predict in which part fault has occurred, and the maintenance plan of a machine can be formed now with a

sufficient precision.

[0015] This invention according to claim 3 can detect the fault of a machine simply, without being influenced by change of the absolute value of the power consumption of a machine which can be set working since it carried out to detecting the existence of fault by comparing time amount until power consumption reaches a peak from the starting initiation command of a motor with the conventional time, i.e., detecting the existence of the fault produced to the machine on the basis of time amount.

[0016] This invention according to claim 4 can detect the fault of a machine simply, without being influenced by change of the absolute value of the power consumption of a machine which can be set working since it carried out to detecting the existence of fault by comparing non-power time amount until actuation of a machine is completed from the time of the power consumption of a motor being lost with the conventional time, i.e., detecting the existence of the fault produced to the machine on the basis of time amount.

[0017]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of 1 operation of this invention is explained with reference to the attached drawing.

[0018] Drawing 1 is the schematic diagram showing the configuration of the machine which makes a driving source the motor which diagnoses by the diagnostic equipment 10 which applied this invention, and drawing 2 is a functional block diagram for explaining the internal configuration of diagnostic equipment based on the actuation.

[0019] First, the machine configuration which diagnoses is explained with reference to drawing 1.

[0020] This machine is a robot arm which operates considering a motor as a driving source, and that configuration consists of a robot arm 3 connected to the output shaft of the servo motor 1 (a motor is only called hereafter) used as a driving source, the reducer 2 connected to the revolving shaft of this motor 1, and a reducer 2. In addition, when illustrating, the welder is connected at the tip of a robot arm as an end effector.

[0021] A motor 1 rotates by receiving supply of power required in order to operate the robot arm 3 suitably from the control circuit 4 of a motor 1 through wiring 5. Here, the power supplied to a motor 1 is an alternating current.

[0022] Moreover, the pulse encoder (un-illustrating) for detecting an engine speed and the engine speed of a motor required for the servo of rotational speed is prepared in the motor 1, and the signal is outputted to the control circuit 4. A reducer 2 is the usual thing constituted by a gearing, bearing, etc., and the interior is filled up with oil for lubrication, such as a gearing and bearing, and degradation prevention.

[0023] In a control circuit 4, suitably, power which serves as the rotational speed is supplied to a motor 1 by the pulse signal from the pulse encoder prepared in the motor 1 so that starting of a motor required for a \*\*\*\* sake of operation, directions of a halt, and rotational speed of a motor 1 may be controlled (servo) and it may become a rotational speed required for actuation of the robot arm 3 about the robot arm 3. Moreover, the pulse signal of a pulse encoder detects whether the motor 1 actually stopped, and the stop signal which shows that the motor 1 actually stopped is outputted. furthermore, the pulse number from this pulse encoder is counted -- it comes out rattlingly and positioning of a robot arm is performed (the sensor only for positioning besides actuation of a motor etc. may be formed in positioning of a robot). In addition, control of such a motor and actuation of a machine are the usual control and the actuation in a robot.

[0024] The starting directions of a motor which detect the current value and electrical-potential-difference value on wiring which actually supplies power to the motor 1 inside [ control circuit 4 ] a motor, and measure the power consumption of a motor, and a control circuit 4 performs, and the robot arm 3 complete predetermined actuation, and the diagnostic equipment 10 for diagnosing such a machine detects the stop signal which shows that the motor 1 actually stopped.

[0025] As the configuration of diagnostic equipment 10 is shown in drawing 2. With the multiplication machine 13 and the multiplication machine 13 which multiply by the signal value from [ from a control circuit 4 ] the ammeter 11 formed in order to measure power and a voltmeter 12, these ammeters 11, and

a voltmeter 12, and find power A starting indication signal and a stop signal are received from the effective-value calculation section 15 which computes the effective value further from the effective power called for by the effective power detecting element 14 which detects effective power from the acquired power value, and the effective power detecting element 14, and the control circuit 4 of a motor. From this starting before a halt The measured power (effective value outputted from the effective-value calculation section) The temporary storage section 16 to memorize, the FFT operation part 17 which carries out the fast Fourier transform (FFT) of the power value until there is a stop signal from starting directions of the motor memorized by this temporary storage section 16, the reference-waveform storage section 19 which memorized the frequency distribution wave used as criteria, The frequency distribution wave used as the criteria memorized by the reference-waveform storage section 19 is compared with the frequency distribution wave acquired from the FFT operation part 17. When it becomes time amount until it reaches a peak power in the existence of fault from the starting indication signal of the power value memorized by the detection \*\*\*\* 1 diagnostic section 18 and the temporary storage section 16 to a motor, and non-power since, when it becomes the conventional time until it becomes the time amount measurement section 20 which detects the time amount of a up to when a stop signal is detected (when a motor actually stops), and a peak power, and non-power since -- the time amount to the peak power which the conventional-time storage section 22 which memorized the conventional time until a motor stops, and the time amount measurement section 20 measured -- And each conventional time which the time amount and the conventional-time storage section 21 of the time of detecting a stop signal from from when it becomes non-power have memorized is compared. It consists of storage 24 which memorizes the display 23 which displays the diagnostic result by the 2nd diagnostic section 21 which detects the existence of the fault of a machine and the 1st diagnostic section 18, and the 2nd diagnostic section 21, and a diagnostic result.

[0026] It functions here as a power measurement means which requires an ammeter 11, a voltmeter 12, the multiplication machine 13, the effective power detecting element 14, and the effective-value calculation section 15 for this invention among each part of the above. Similarly the temporary storage section 16 and the FFT operation part 16 function as an operation means. Moreover, the reference-waveform distribution storage section 18 and the 1st diagnostic section 19 function as a frequency criteria diagnostic means, and the time amount measurement section 20, the conventional-time storage section 22, and the 2nd diagnostic section 21 function as a peak-power time amount diagnostic means or a non-power time base diagnostic means.

[0027] In addition, each part in the above-mentioned diagnostic equipment 10 is for explaining actuation and the function of this diagnostic equipment 10, and other each part functions except for an ammeter 11 and a voltmeter 12 as actual equipment by executing a program for the computer called the so-called personal computer, the so-called workstation, etc. functioning each part of the above. In addition, it cannot be overemphasized that no configurations may not be depended on a computer but may be constituted, of course.

[0028] Hereafter, actuation of diagnostic equipment 10 is explained according to the function of above-mentioned each part of diagnostic equipment 10.

[0029] Drawing 3 is the drawing in which the power consumption of the actually measured motor is shown, and shows the power wave showing change of power consumption (effective value) until a robot completes predetermined actuation from the starting directions memorized by the above-mentioned temporary storage section 16. Here, although data 1 and data 2 are the things when carrying out the same actuation as the robot arm 3, it is a thing immediately after starting data 1 from the condition (namely, condition that each part of a robot has got cold) that the robot stopped for a while, and, on the other hand, data 2 are the thing after making it operate continuously. In addition, predetermined actuation of a robot is actuation which performs actuation to which the robot arm 3 was taught beforehand, and moves to a positioning point here.

[0030] Even if it is the same actuation, it turns out by data 1 and data 2 that the absolute values of power consumption differ, so that it may illustrate. Since the load which its oil viscosity inside a machine is high as compared with the time of data 2 since this difference is working by data 1 after the robot has

got cold, and it requires for that part motor 1 is large, even if it is the same actuation, the absolute value of power consumption is high from the time of data 2. In addition, the difference in such a load is a difference by the normal load range.

[0031] Such a difference is generated not only by the difference of oil viscosity but by change (for example, change of the weight at the tip of a robot arm according to exchange of an end effector etc. in a robot's case, the difference in the work-piece weight grasped when having attached the robot hand, etc.) of the load in the effect and the normal condition by the temperature itself.

[0032] In this drawing 3, although change has appeared in a minute vibration of power consumption since fault has occurred to the machine in fact in the fault generating part enclosed with with a circle (refer to the enlarged drawing in drawing), it cannot judge only by recording the absolute value of such power consumption.

[0033] Drawing 4 is a drawing in which the frequency distribution wave acquired by carrying out the fast Fourier transform of the power wave as shown in drawing 3 memorized by the temporary storage section 16 by the FFT operation part 17 is shown.

[0034] Thus, change of the power consumption by time amount progress can be expressed as frequency distribution, and by carrying out a fast Fourier transform will show the amplitude of a minute vibration of the power consumption which the level for every frequency produces according to the condition of a machine. And since a minute vibration of the power consumption produced according to the condition of this machine does not change even if the absolute value of power consumption changes, if it has the part which has generated fault, it will be the part which the fault in frequency distribution generated, and a difference will produce it on that level as compared with always [ forward ]. In addition, in drawing 4, drawing of the fault level enclosed with with a circle and normal level expands the absolute value of the power consumption before [ in each part ] carrying out a fast Fourier transform.

[0035] So, in the 1st diagnostic section 18, the frequency distribution wave used as the criteria beforehand memorized in the reference-waveform storage section 19 is compared with the wave which carried out the fast Fourier transform of the measured power consumption, and it is judged as what fault has produced in the part which has a level difference for every frequency.

[0036] In illustrating, it turns out that that level is high in the frequency part shown by (f) as compared with normal values, and fault has occurred in this part.

[0037] In addition, the frequency distribution wave used as criteria memorizes the frequency distribution wave acquired by operating the robot by which the normal thing is checked beforehand in the reference-waveform storage section 18, and makes it the criteria in the case of a diagnosis.

[0038] Moreover, this frequency distribution has the actuation like each right hand side of a machine, and a correlation. In the case of the machine which operates each part by rotation of a motor, this corresponds to body of revolution, such as a motor, and a revolving shaft, a gearing of the moderation inside of a plane, at the frequency of a proper (it is not the oscillation frequency of a proper at the machine itself). And the frequency of a proper appears as a frequency of the integral multiple of the basic rotational frequency of body of revolution in such body of revolution at the frequency distribution acquired from power measurement. Therefore, if the basic rotational frequency of this body of revolution and the frequency of that integral multiple are known, the frequency in the frequency distribution acquired by power measurement can know which right hand side is supported.

[0039] Such body of revolution can be asked for the frequency of a proper by count. For example, in the case of the revolving shaft of a motor, or the revolving shaft by which direct continuation was carried out, without minding a reducer etc., it can ask for the natural frequency from the rotational frequency of a motor. Basic rotational frequency  $f_0$  It asks by (Hz)  $= N / 60$  (N is the rotational frequency (rpm) of a motor here). And the frequency of the integral multiple becomes  $f_1 = 2 \times f_0$ ,  $f_2 = 3 \times f_0$ , --, etc.

[0040] if the rotational frequency of a motor is specifically set to 1200rpm -- the natural frequency --  $f_0 = 1200 / 60 = 20$  (Hz), and  $f_1 = 2 \times 20 = 40$  (Hz)  $f_2 = 3 \times 20 = 60$  (Hz), --, etc.

[0041] Moreover, a basic rotational frequency is determined by contact of the gear tooth of the gearing by rotation of the gearing of the moderation inside of a plane [ natural frequency / of a reducer ]. Therefore, it can ask for the basic rotational frequency frequency  $f_z$  by  $f_z = (N/60) \times Z$  (N is a gearing's

rotational frequency (rpm) and Z is a gearing's number of teeth here).

[0042] When two gearings' combination specifically constitutes the reducer of a reduction gear ratio 10 temporarily, They are 10 and an output side gearing [OUT] (direction connected to shafts for actuation, such as a robot arm) about the number of teeth of the input lateral-tooth vehicle [IN] (direction connected to the motor) of this reducer. If a number of teeth is set to 100 Like the above of the rotational frequency of a motor if 1200 (rpm), it can ask for the natural frequency of this reducer as follows.

[0043] since [ first, ] an input lateral-tooth vehicle rotates by 1200 (rpm) by rotation of a motor by the input lateral-tooth vehicle [IN] -- the natural frequency --  $10 = 200$  (Hz) and  $fz0[IN] = (1200/60) \times f_z1[IN] = 2 \times 200 = 400$  (Hz)  $fz2[IN] = 3 \times$  -- it becomes  $200 = 600$  (Hz) and --.

[0044] on the other hand -- output side gearing [OUT] \*\*\*\* -- since an output side gearing rotates by 120 (rpm) -- the natural frequency --  $fz0[OUT] = (120/60) \times 100 = 200$  (Hz) and  $fz1[OUT] = 2 \times 200 = 400$  (Hz) and  $fz2[OUT] = 3 \times$  -- it becomes  $200 = 600$  (Hz) and --.

[0045] Here, since an input side and the output side of the natural frequency with each gearing are the same, the natural frequency as a reducer becomes 200 (Hz), 400 (Hz), 600 (Hz), and --. In addition, although it asks similarly even when natural frequency with each gearing differs by the input side and the output side, not the natural frequency as the whole reducer but the natural frequency for each gearing of every is known in that case.

[0046] Thus, the generating part of fault is presumed by contrasting the natural frequency of the machine which memorizes the natural frequency of the computed body of revolution in the reference-waveform storage section 19 which is making the reference waveform memorize with the correspondence relation of an about [ the right hand side by the body of revolution which emits the natural frequency ], and was memorized in the 1st diagnostic section 18, and the frequency on which fault was detected.

[0047] Furthermore, when fault is detected, extent of the fault can also be presumed with the level (amount of a difference with normal values) of a frequency with fault. This is because it is proportional to how much [ the wear or how much / bonds ] from which extent of that vibration serves as amplitude of a frequency, it appears, and this amplitude becomes the cause which produces vibration, when vibration arises by wear, a flaw, etc. of body of revolution.

[0048] Specifically For example, wear of body of revolution, such as a shaft of a motor, and a revolving shaft, bearing of those, etc. and exfoliation of these parts (flaking), Or since a deflection arises, this deflection is resisting on the occasion of rotation of body of revolution and this resistance is proportional to the amount of wear, or the amount of exfoliations by wear of the gearing of the moderation inside of a plane, when body of revolution and a gearing are rotated, Torque required for rotation changes in proportion to these amounts of wear and amounts of exfoliations, and electric energy is influenced, and this serves as amplitude of a frequency component and appears. Therefore, the amount of exfoliations and the amount of wear of body of revolution can be presumed from the degree (degradation extent shown in drawing 4 ) of the amplitude in a frequency with this fault.

[0049] Next, with this operation gestalt, in order to raise further the accuracy other than the diagnosis using the fast Fourier transform mentioned above, the 2nd diagnostic section 21 is performing two diagnoses on the basis of time amount.

[0050] It is what is diagnosed based on time amount (section shown by T1 in drawing 3 ) after the 1st [ the ] has starting directions until power consumption reaches a peak. The time amount of the time of the 2nd diagnostic section 21 serving as a peak power from the effective value of the power consumption memorized by the temporary storage section 16, after receiving the signal of starting directions is measured. This measured time amount, The conventional time until it becomes a peak power from starting beforehand memorized by the conventional-time storage section 22 is compared, and the difference of this time amount detects the existence of fault.

[0051] Drawing 5 is a drawing in which the example of the approach of diagnosing from time amount until it becomes this peak power is shown.

[0052] In this drawing, time amount [ until it reaches a peak power from starting directions ] T (a) is the time amount in a normal condition, on the other hand it is time amount in case fault has T (b) and T (c).



As shown in drawing, when there is fault, it turns out that it is late for a condition with normal time amount until it reaches a peak power from starting directions.

[0053] Thus, when there is fault, this fault can be detected as a time lag which reaches a peak power because effective power is measured as power consumption of a motor.

[0054] The principle of this diagnosis is explained. For example, when the bearing of the motor inside of a plane is damaged and it has become the resistance at the time of rotation, the load concerning a motor becomes large by breakage of this bearing. The equal circuit of a motor is shown in drawing 6. In this drawing, it is the load which requires Resistance R for a motor (the inside L of drawing is the inductance of the electric system (especially coil in a motor) of a motor), and if this load increases, when the electrical potential difference of a supply voltage is fixed, in order to compensate a part for load increase, the current which flows to a motor will increase. In addition, they are the electrical potential difference of the power which supplies V to a motor in drawing 6, and VR. The voltage drop by load resistance, and VL. It is actually this electrical potential difference at a motor.

[0055] Such a concept of a motor of operation is expressed as a vector-space Fig., as shown in drawing 7. In addition, inside of drawing and  $i_a$  For a torque current and  $i_{aM}$ , the magnetizing current and  $\phi$  are [ the armature current and  $i_{aT}$  ] generating magnetic flux and  $\phi_{id}$ . A rotator magnetic-flux component and  $\phi_{iq}$  It is a rotator magnetic-flux component.

[0056] It is the armature current  $i_a$  of a motor here. It becomes vector sum  $i_a = i_{aT} + i_{aM}$  of the torque current  $i_{aT}$  and the magnetizing current  $i_{aM}$ . And if the motor output which is needed with increase of a load exceeds the torque value of the motor engine performance, it is the armature current  $i_a$ . Even if it increases, the torque current  $i_{aT}$  will be saturated with threshold value, and only the magnetizing current  $i_{aM}$  will increase it. For this reason, a power-factor will get worse.

[0057] And according to aggravation of a power-factor, since reactive power occurs, attainment of a peak power comes to seem to be shown in drawing 8 behind time under supervising only effective power. With this operation gestalt, the monitor of this effective power has detected the delay of a peak power.

[0058] Thereby, as fault which cannot be caught by the fast Fourier transform, either, a load which exceeds the torque value as motor engine performance according to increase of a load is applied, and fault which delay produces in actuation of a machine can be detected now. If it is so large that there is delay in an arm movement and the delay of the actuation understands this also by appearance for example, in a robot arm Although discovered by the operator (it is detectable also in such a natural case), the delay of an arm movement is local or are very small. By an operator's appearance, even if it is a case so that delay cannot be discovered, fault which produces very slight delay of operation is detectable with the monitor of this peak power.

[0059] Moreover, since detection of this fault can be detected not only increase of the load by damage of the machine itself etc. but when the excessive load which is not normal is applied, with such an excessive load, it can detect fault which results in the mechanical damage by an excessive load being applied to a machine, especially a motor, and can prevent this.

[0060] Next, the 2nd is diagnosed by time amount (section shown by T2 in drawing 3) until actuation of a machine is completed from the power consumption of the diagnosis on the basis of time amount being lost (non-power).

[0061] The 2nd approach of the diagnosis on the basis of this time amount is the same as that of said 1st thing almost. The 2nd diagnostic section 21 measures the time amount of the effective value of the power consumption memorized by the temporary storage section 16 to the time of receiving the stop signal which shows that actuation of a machine was completed from the time of power consumption being lost. As compared with this measured time amount and the conventional time of the non-power condition beforehand memorized by the conventional-time storage section 22, the difference of this time amount detects the existence of fault.

[0062] Here, the power consumption is [ the arm ] actually 0 from the slowing down point for a motor to suspend actuation on the occasion of positioning of a robot arm etc. before the halt. If reactive power is caught at this time, a motor will rotate and will discharge with the servo amplifier of a motor in the

meantime in the form of regeneration discharge for the electromotive force produced by rotation of a motor until it stops completely. In addition, regeneration discharge is committing a generator and discharging by turning a motor according to inertia.

[0063] And since this serves as rotational resistance of a motor in a certain fault's arising to the machine itself, and this serving as resistance inside a machine and becoming the difficulty of moving of the machine itself, it works as a mechanical brake which stops a motor, it becomes early that rotation of a motor stops as compared with always [ forward ], and between the nascent states of reactive power becomes short.

[0064] Therefore, this can be detected when there is mechanical fault which acts as a brake to a motor by comparing this with normal values, since the time amount of T2 in time amount, i.e., drawing 3, after this is set to 0 until a motor actually stops becomes short when having detected effective power.

[0065] In addition, it sets to detection of the fault on the basis of the above time amount. The conventional time of the non-power condition at the time of stopping the conventional time in a normal condition until it reaches a peak power from starting directions, and actuation In the normal condition, it measures beforehand how much time amount these are. The time amount which you may make it memorize this in the conventional-time storage section 22, and serves as a peak power corresponds to the actuation which starts a machine most as for a load. Since it corresponds to the time amount to completion of operation from from on the other hand when it becomes unnecessary to supply power to a motor also about the time amount of a non-power condition (until a motor actually stops from generating of the reactive power for a halt of operation), Since these are connected with actuation of a machine (this operation gestalt robot arm), it asks for them from actuation of the machine to diagnose, and they are good also as each conventional time.

[0066] According to this operation gestalt, by measuring only power consumption as mentioned above Prevent a disturbance factor \*\*\*\*\* incorrect diagnosis and the fault which cannot be detected is detected by performing a fast Fourier transform from the absolute value of power consumption. furthermore, it acts as a mechanical brake to the delay of operation and the motor like a machine right hand side with difficult detection also by this fast Fourier transform -- fault [ like ] is also detectable from time amount until power consumption reaches a peak, or the time amount of a non-power condition.

[0067] Moreover, since a signal required for a diagnosis is only a signal of the power consumption of a motor, starting directions, and completion of operation in this diagnostic equipment Since power consumption can be easily measured out of the power supply circuit to a motor and the signal of starting directions and completion of operation can be easily acquired from control circuits, such as a programmable controller which is controlling the machine For example, by carrying out diagnostic equipment mentioned above with the personal computer of a portable type, and a desirable small personal computer, this personal computer can be carried and a diagnosis of two or more machines can be diagnosed now.

---

[Translation done.]